CECS 138：2002

中国工程建设标准化协会标准

给水排水工程
钢筋混凝土水池结构设计规程

Specification for structural design of reinforced concrete water tank of water supply and sewerage engineering

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

中国工程建设标准化协会标准

给水排水工程
钢筋混凝土水池结构设计规程

Specification for structural design of reinforced concrete water tank of water supply and sewerage engineering

CECS 138:2002

主编单位:北京市市政工程设计研究总院
批准单位:中国工程建设标准化协会
施行日期:2003年3月1日

前　言

本规程原属于《给水排水工程结构设计规范》GBJ 69－84 中第三章的内容。根据逐步与国际接轨的需要，现将本规程独立成本，以便工程应用和今后修订。据此，按中国工程建设标准化协会(94)建标协字第 11 号《关于下达推荐性标准编制计划的函》的要求进行编制。

本规程根据国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068－2001 和《工程结构可靠度设计统一标准》GB 50153－92 规定的原则，采用以概率理论为基础的极限状态设计方法编制，并与有关的结构专业设计规范协调一致。

本规程总结了原《给水排水工程结构设计规范》GBJ 69－84 近十多年来的应用情况，吸取了国内的工程实际经验和国外相关标准的内容，对原规范的内容作了大量的充实和完善。

根据国家计委标[1986]1649 号文《关于请中国工程建设标准化委员会负责组织推荐性工程建设标准试点工作的通知》的要求，现批准协会标准《给水排水工程钢筋混凝土水池结构设计规程》，编号为 CECS138：2002，推荐给工程建设设计、施工、使用单位采用。

本规程第 3.0.1、3.0.2、3.0.3、3.0.5、3.0.7、5.2.1、5.3.1、7.1.2 条及第 7.1.9 条中的第 1 款建议列入《工程建设标准强制性条文》。

本规程由中国工程建设标准化协会贮藏构筑物委员会 CECS/TC10（北京西城区月坛南街乙二号　北京市市政工程设计研究总院，邮编：100045）归口管理，并负责解释。在使用中如发现需要修改或补充之处，请将意见和资料径寄解释

单位。

主 编 单 位:北京市市政工程设计研究总院

主要起草人:钟启承　沈世杰　刘雨生

中国工程建设标准化协会

2002 年 12 月 30 日

目　　次

1　总　　则 …………………………………………………… 1
2　主要符号 ………………………………………………… 2
3　材料 ……………………………………………………… 4
4　结构上的作用 …………………………………………… 6
4.1　作用分类和作用代表值 ……………………………… 6
4.2　永久作用标准值 ……………………………………… 6
4.3　可变作用标准值、准永久值系数 …………………… 7
5　基本设计规定 …………………………………………… 10
5.1　一般规定 ……………………………………………… 10
5.2　承载能力极限状态计算 ……………………………… 11
5.3　正常使用极限状态验算 ……………………………… 14
5.4　预应力混凝土水池计算 ……………………………… 16
6　静力计算 ………………………………………………… 20
6.1　矩形水池计算 ………………………………………… 20
6.2　圆形水池计算 ………………………………………… 33
7　构造要求 ………………………………………………… 37
7.1　一般规定 ……………………………………………… 37
7.2　预应力混凝土水池 …………………………………… 40
附录 A　钢筋混凝土矩形截面处于受弯或大偏心受压(拉)状态时的最大裂缝宽度计算 ………………………… 43
附录 B　四边铰支承的双向板在均布、三角形荷载或边缘弯矩作用下的边缘反力系数 ……………………… 45
附录 C　三边固定、顶端自由的双向板在均布、三角形荷载或边缘弯矩作用下的边缘反力系数 ………………… 47

附录D　双向受力壁板在壁面温差或湿度当量温差作用下的
弯矩系数 …………………………………………… 48
附录E　双向板在非齐顶水(土)压力作用下的弯矩系数和
边缘反力系数 ………………………………………… 50
本规程用词说明 ………………………………………… 52
附:条文说明 …………………………………………… 53

1 总　　则

1.0.1 为了在给水排水工程钢筋混凝土水池结构设计中，做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量，制订本规程。

1.0.2 本规程适用于城镇公用设施和工业企业中一般给水排水工程钢筋混凝土水池的结构设计，不适用于工业企业中具有特殊要求的钢筋混凝土水池设计。

1.0.3 本规程系根据现行国家标准《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069 规定的原则制订。

1.0.4 按本规程设计时，一般荷载的确定、构件截面计算和地基基础设计等应按国家现行有关标准的规定执行。

1.0.5 对于建在地震区、湿陷性黄土或膨胀土等地区的给水排水工程钢筋混凝土水池结构的设计，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 主要符号

2.0.1 作用和作用效应

$F_{ep,k}$——侧向土压力标准值；

$F_{sv,k}$——竖向土压力标准值；

F_{tk}——温（湿）度变化作用标准值；

F_{wk}——池内水压力标准值；

G_{1k}——结构自重标准值；

M_{cx}——壁板水平向角隅处的局部负弯矩；

M_t——壁面温差或湿度当量温差（Δt）引起的弯矩；

N_p——后张法构件预应力及非预应力钢筋的合力；

N_k——构件在作用效应标准组合下，计算截面上的纵向力；

Q_k——顶板活荷载标准值；

$q_{gw,k}$——池外地下水压力标准值；

q_{mk}——地面堆积荷载标准值；

S——作用效应组合设计值；

w_v——支承构件的挠度值；

σ_{con}——预应力钢筋张拉控制应力；

σ_l——相应阶段的预应力总损失值；

σ_{pc}——由预加力产生的混凝土截面边缘法向应力；

σ_{pe}——预应力钢筋的有效应力。

2.0.2 材料性能

E_c——混凝土的弹性模量；

E_s——钢筋的弹性模量；

f_{tk}——混凝土轴心抗拉强度标准值；

f_{ptk}——预应力钢筋抗拉强度标准值；

Fi——混凝土的抗冻等级，系指龄期为28d的混凝土试件，在进行相应冻融循环总次数 i 次作用后，其强度降低不大于25%，重量损失不超过5%；

Si——混凝土的抗渗等级，系指龄期为28d的混凝土试件，施加 $i \times 0.1$MPa 水压后满足不渗水指标；

α_c——混凝土的线膨胀系数；

β_c——混凝土的热交换系数；

λ_c——混凝土的导热系数；

υ_c——混凝土的泊桑比。

2.0.3 几何参数

A_n——构件的混凝土净截面面积；

A_0——构件的换算截面面积；

A_s——验算截面内纵向受拉钢筋的总截面面积；

e_0——纵向力对截面重心的偏心距。

l_0——构件的计算跨度；

W_0——构件截面换算面受拉边缘的弹性抵抗矩；

2.0.4 计算系数及其他

m_c——角隅处最大水平向弯矩系数；

T_A——壁板外侧的大气温度；

T_N——壁板内侧水的计算温度；

α_{ct}——混凝土拉应力限制系数；

α_E——钢筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值；

γ——受拉区混凝土的塑性影响系数；

Δt——壁板的内、外侧壁面温差；

ψ——裂缝间纵向受拉钢筋应变不均匀系数；

ψ_c——可变作用的作用组合值系数；

ψ_q——可变作用的准永久值系数。

3 材　　料

3.0.1 水池受力构件的混凝土强度等级不应低于C25；垫层混凝土不应低于C10。预应力水池的混凝土强度等级不应低于C30。当采用碳素钢丝、钢绞线、热处理钢筋作预应力钢筋时，混凝土强度等级不应低于C40。

3.0.2 水池混凝土的密实性应满足抗渗要求，不作其他抗渗处理。混凝土的抗渗等级要求，当最大作用水头与混凝土厚度的比值小于10时，应采用*S*4；当比值为10～30时应采用*S*6；当比值大于30时，应采用*S*8；混凝土的抗渗等级应根据试验确定。

3.0.3 当水池外露时，对最冷月平均气温在－3℃～－10℃的地区，混凝土抗冻等级应采用F150；对最冷月平均气温低于－10℃的地区，混凝土抗冻等级应采用F200。

3.0.4 配制抗渗、抗冻混凝土时水灰比应不大于0.5。骨料应选择良好的级配，粗骨料粒径不应大于40mm，且不超过最小断面厚度的1/4，含泥量按重量计应不超过1%。砂子的含泥量及云母含量按重量计不应超过3%。

3.0.5 水池接触介质的酸碱度(pH值)低于6.0时，应按国家现行有关标准或根据专门试验确定防腐措施。

3.0.6 水池混凝土的碱含量应符合《混凝土碱含量限值标准》CECS 53的规定。

3.0.7 水池混凝土中可根据需要适当采用外加剂，但不得采用氯盐作防冻、早强掺合料。采用外加剂时，应符合现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GBJ 119的规定。对抗冻混凝土不得采用火山灰质硅酸盐水泥和粉煤灰硅酸盐水泥。

3.0.8 混凝土热工系数可按表3.0.8采用。

表 3.0.8　混凝土的热工系数

系数名称	工　作　条　件	系　数　值
线膨胀系数 α_c (1/℃)	温度在 0℃～100℃范围内	1×10^{-5}
导热系数 λ_c [(W/(m·K)]	两侧表面与空气接触	1.55
	一侧表面与空气接触，另一表面与水接触	2.03
热交换系数 β_c [(W/(m^2·K)]	冬季混凝土表面与空气之间	23.26
	夏季混凝土表面与空气之间	17.44

4　结构上的作用

4.1　作用分类和作用代表值

4.1.1　水池结构上的作用主要可分为永久作用和可变作用两类。永久作用应包括结构自重、土的竖向压力和侧向压力、水池内的盛水压力、结构的预加应力、地基的不均匀沉降等；可变作用应包括池顶活荷载、雪荷载、地表或地下水压力（侧压力、浮托力）、结构构件的温（湿）度变化作用、地面堆积荷载等。

4.1.2　当结构承受两种或两种以上可变作用，承载能力极限状态按作用效应基本组合计算或正常使用极限状态按作用效应标准组合验算时，应采用标准值和组合值作为可变作用代表值。可变作用的组合值应为可变作用的标准值乘以作用组合值系数。

4.1.3　当正常使用极限状态按作用效应准永久组合验算时，应采用准永久值作为可变作用代表值。可变作用准永久值应为可变作用的标准值乘以准永久值系数。

4.2　永久作用标准值

4.2.1　结构自重的标准值，可按结构构件的设计尺寸与相应材料单位体积的自重计算确定，钢筋混凝土的自重可取 $25kN/m^3$；素混凝土可取 $23kN/m^3$。水池梁、板上设备自重的标准值，可按设备样本提供的数据采用。在构件上设备转动部分的自重及由其传递的轴向力应乘以动力系数后作为标准值，动力系数可取 2.0。

4.2.2　作用在地下式水池上竖向土压力标准值，应按水池顶板上的复土厚度计算，并乘以竖向压力系数，压力系数可取 1.0；当水池顶板的长宽比大于 10 时，压力系数宜取 1.2。一般回填土的重力密度可按 $18kN/m^3$ 采用。

4.2.3 作用在水池上侧向的土压力标准值，对水池位于地下水以上的部分可按朗金公式计算主动土压力，土的重力密度可按 $18kN/m^3$ 采用。对水池位于地下水以下部分的侧压力，应为主动土压力与地下水静压力之和，此时土的重力密度应按有效重度计算，可按 $10kN/m^3$ 采用。

4.2.4 水池内的水压力应按设计水位的静水压力计算。对给水处理的水池，水的重力密度可取 $10kN/m^3$；对污水处理的水池，水的重力密度可取 $10\sim10.8kN/m^3$。对机械表面曝气池内的设计水位，应计入水面波动的影响，可按池壁顶计算。

4.2.5 施加在水池结构构件上的预加力标准值，应按预应力钢筋的张拉控制应力值扣除相应张拉工艺的各项应力损失采用。当构件按承载能力极限状态计算且预加力为不利作用时，由钢筋松驰和混凝土收缩、徐变引起的应力损失不应扣除。

4.2.6 地基不均匀沉降引起的永久作用标准值，其沉降量及沉降差应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 确定。

4.3 可变作用标准值、准永久值系数

4.3.1 不上人水池顶盖的活荷载标准值可取 $0.7kN/m^2$，准永久值系数可取 0；上人水池顶盖的活荷载标准值可取 $1.5kN/m^2$，准永久值系数可取 0.4。

4.3.2 水池顶盖设计时，应根据施工条件验算施工机械设备的荷载，其标准值可按设备的使用重量采用，准永久值系数可取 0。

4.3.3 雪荷载标准值及其准永久值系数，应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定采用。当顶盖上的活荷载大于雪荷载时，应只采用活荷载，反之应只采用雪荷载。

4.3.4 地下水（包括上层滞水）对构筑物的作用标准值，应按下列规定采用：

1 水池各部位的水压力应按静水压力计算。

2 地下水的设计水位，应根据勘察部门提供的数据采用可能

出现的最高和最低水位，并宜根据近期内变化和补给的趋势确定。

3 水压力标准值的相应设计水位，应根据对结构的不利作用效应确定取最低水位或最高水位。当取最低水位时，相应的准永久值系数应取1.0；当取最高水位时，相应的准永久值系数，对地下水可取平均水位与最高水位的比值。

4 地表水或地下水对结构浮托力的标准值，应按最高水位乘以浮托力折减系数确定。浮托力折减系数，对非岩质地基应取1.0；对岩石地基应按其破碎程度确定，当基底设置滑动层时应取1.0。

4.3.5 水池构筑物的温度变化作用（包括湿度变化的当量温差）标准值 F_{tk}，可按下列规定确定：

1 地下或设有保温措施的有盖水池，可不计算温度、湿度变化作用；暴露在大气中符合本规程有关变形缝沟造要求的水池池壁，可不计算温、湿度变化对壁板中面的作用。

2 暴露在大气中的水池池壁的温度变化作用，应由池壁的壁面温差确定。壁面温差应按下式计算：

$$\Delta t=\frac{\frac{h}{\lambda_c}}{\frac{1}{\beta_c}+\frac{h}{\lambda_c}}(T_N-T_A) \tag{4.3.5}$$

式中 Δt——壁板的内外侧壁面温差（℃）；

h——壁板的厚度（m）；

λ_c——混凝土壁板的导热系数，按表3.0.8采用；

β_c——混凝土壁板与空气间的热交换系数，按表3.0.8采用；

T_N——壁板内侧水的计算温度（℃），按年最低月的平均水温采用；

T_A——壁板外侧的大气温度（℃），按当地年最低月的统计平均温度采用。

3 暴露在大气中的水池池壁的壁面湿度当量温差 Δt 可按

10℃采用。

4 温度、湿度变化作用的准永久值系数 ψ_{qt} 宜取 1.0 计算。

4.3.6 地面堆积荷载的标准值可取 $10kN/m^2$，其准永久值系数可取 0.5。

5 基本设计规定

5.1 一般规定

5.1.1 各种类别、形式的水池结构构件，均应按承载能力极限状态计算。

5.1.2 水池结构按承载能力极限状态计算时，除结构整体稳定验算外，其余均采用分项系数设计表达式。

5.1.3 各种类别、形式的水池结构构件均应按正常使用极限状态验算。对轴心受拉和小偏心受拉构件应按作用效应标准组合进行抗裂度验算；对受弯和大偏心受拉构件应按作用效应准永久组合进行裂缝宽度验算；对需要控制变形的结构构件应按作用效应准永久组合进行变形验算。

5.1.4 无保温设施地面式水池的强度计算应考虑温(湿)度作用。温度作用应包括壁面温差和湿度当量温差，两者应取其中较大者计算。

5.1.5 矩形多格水池应根据具体应用条件计算，一般按间格贮水考虑。

5.1.6 水池的地基反力，可按直线分布计算。

5.1.7 当地基承载力较高，且池底位于最高地下水以上时，池壁基础可按独立基础设计。

5.1.8 水池池壁的计算长度，应按下列规定确定：

1 矩形水池池壁的水平向计算长度应按两端池壁的中线距离计算。

2 圆形水池池壁的计算半径，应为中心至池壁中线的距离。

3 池壁竖向的计算高度应根据节点构造和结构计算简图确定：

1）池壁与顶、底板整体连接时，计算应按整体分析。池壁上下端为弹性固定时，池壁竖向计算高度应为顶、底板截面中线距离；池壁上端为弹性固定，下端为固定时，池壁竖向计算高度应为净高加顶板厚度的一半。

2）池壁与底板整体连接，顶板简支于池壁顶部或二者铰接，池壁与底板为弹性固定时，池壁竖向计算高度应为净高加底板厚度的一半；池壁下端固定、上端自由时，池壁竖向计算高度应为净高。

3）池壁为组合壳时，池壁竖向计算高度的一端应计算至组合壳中线的连接处。

5.1.9 池壁与底板（基础）连接，底板（基础）视为池壁的固定支承时，底板（基础）的厚度必须大于池壁，可根据地基的土质情况取1.2～1.5倍池壁厚度，并应将底板（基础）外挑。

5.2 承载能力极限状态计算

5.2.1 水池结构构件按承载能力极限状态进行强度计算时，应采用下列设计表达式：

$$\gamma_0 S \leqslant R \tag{5.2.1}$$

式中 γ_0——结构重要性系数。在一般情况下水池安全等级取二级，重要性系数取1.0；

S——作用效应组合设计值；

R——结构构件抗力设计值，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的规定确定。

5.2.2 水池按承载能力极限状态进行强度计算时，作用效应组合设计值应按下列规定确定：

1 按承载能力极限状态计算的作用效应基本组合，应按下式计算：

$$S=\gamma_{G1}C_{G1}G_{1k}+\gamma_G(C_wF_{wk}+C_{sv}F_{sv,k}+C_{ep}\cdot F_{ep,k}+C_p\cdot F_{pk}+C_s\Delta_{sk})+\gamma_{Q1}C_{gw}q_{gw,k}+\psi_c\gamma_Q(C_QQ_k+C_mq_{mk}+C_t\cdot F_{tk}) \tag{5.2.2-1}$$

式中 γ_{G1}——结构自重分项系数，取 1.2；当对结构有利时，取1.0；

C_{G1}——结构自重效应系数；

G_{1k}——结构自重标准值；

γ_G——除结构自重外，各项永久作用的分项系数，当作用效应对结构不利时取 1.27；当对结构有利时取1.0；

C_w——池内水压力效应系数；

F_{wk}——池内水压力标准值；

C_{sv}——竖向土压力效应系数；

$F_{sv,k}$——竖向土压力标准值；

C_{ep}——侧向土压力效应系数；

$F_{ep,k}$——地下水位以上或以下的侧向土压力标准值；

C_p——预加应力效应系数；

F_{pk}——预加力标准植；

C_s——不均匀沉降效应系数；

Δ_{sk}——不均匀沉降标准值；

γ_{Q1}——地表水或地下水压力分项系数，取 1.27；

C_{gw}——地表水或地下水压力效应系数；

$q_{gw,k}$——地表水或地下水压力标准值，作为第一可变作用；

γ_Q——除地表水或地下水压力外，各项可变作用的分项系数，取 1.40；

ψ_c——两种或两种以上可变作用的组合系数，取 0.9；

C_Q——顶板活荷载效应系数；

Q_k——顶板活荷载标准值；

C_m——地面堆积荷载效应系数；

q_{mk}——地面堆积荷载标准值，取 10kN/m^2；

C_t——温(湿)度作用效应系数；

F_{tk}——温(湿)度作用标准值。

注：作用效应系数为结构构件中的效应与产生该效应作用的比值，按结构力学方法确定。

2 按承载能力极限状态计算时，作用效应基本组合设计值应根据水池型式及其工况取不同的作用项目组合。不同项目组合可参照表 5.2.2 确定。

表 5.2.2 强度计算的作用组合

水池形式及工况			永久作用						可变作用			
			结构自重 G_1	池内水压力 F_w	竖向土压力 F_{sv}	池外土侧压力 F_{ep}	预加应力 F_p	不均匀沉降 Δ_s	顶板活载 Q	地面堆积荷载 q_m	池外水压力 q_{gw}	温(湿)度作用 F_t
地下式水池	有盖水池	闭水试验	√	√			△					√
地下式水池	有盖水池	使用时池内无水	√		√	√	△	△	√	√	√	
地下式水池	敞口水池	闭水试验	√	√			△					√
地下式水池	敞口水池	使用时池内无水	√			√	△	△		√	√	√
地面水池	有保温设施的有盖水池	闭水试验	√	√			△					√
地面水池	有保温设施的有盖水池	使用时池内有水	√	√	√		△	△	√			
地面水池	无保温设施的有盖水池	闭水试验	√	√			△					√
地面水池	无保温设施的有盖水池	使用时池内有水	√	√	√		△	△	√			√
地面水池	敞口水池	闭水试验	√	√			△					√
地面水池	敞口水池	使用时池内有水	√	√			△	△				√

注：1 表中有"√"的作用为相应池型与工况应予计算的项目；有"△"的作用为应按具体设计条件确定采用，当外土压无地下水时不计 q_{gw}；

2 表中未列入地下式有盖水池池内有水的工况，但计算地基承载力或池壁与池顶板为弹性固时计算池顶板，须予考虑；

3 不同工况组合时，应考虑对结构的有利与不利情况分别采用分项系数；

5.2.3 当水池池壁采用独立基础，池壁按挡土(水)墙设计时，应

符合下列规定：

1 池壁基底的地基反力可按直线分布计算，基底边缘的最小压力不宜出现负值(拉力)，并应进行抗倾覆稳定验算。验算时作用均取标准值，倾覆抗力系数不应小于1.5。

2 当池壁基础与底板间设置变形缝时，应进行抗滑稳定验算。验算时荷载均取标准值，抵抗力只计算永久作用，滑动抗力系数不应小于1.3。

5.2.4 当水池承受地下水(含上层滞水)浮力时，应进行抗浮稳定验算。验算时作用均取标准值，抵抗力只计算不包括池内盛水的永久作用和水池侧壁上的摩擦力，抗浮抗力系数不应小于1.05。水池内设有支承结构时，还须验算支承区域内局部抗浮。

5.3 正常使用极限状态验算

5.3.1 水池结构构件按正常使用极限状态设计时，应分别按作用效应的标准组合或准永久组合进行验算。结构构件的变形、抗裂度和裂缝宽度计算值应满足相应的规定限值。

5.3.2 当水池结构构件处于轴心受拉或小偏心受拉时，应控制抗裂度，并取作用效应的标准组合按下列规定确定：

1 按正常使用极限状态验算时，作用效应标准组合的设计值应按下式计算：

$$S_d = C_{G1}G_{1k} + C_w F_{wk} + C_{sv} F_{sv,k} + C_{ep} F_{ep,k} + C_p F_{pk} + C_s \Delta_{sk} + C_{gw} q_{gw,k} + \psi_c (C_Q Q_k + C_m q_{mk} + C_t F_{tk}) \tag{5.3.2}$$

2 按正常使用极限状态验算时，作用效应标准组合的设计值，应根据水池型式及其工况按表5.2.2选取不同的作用项目组合。

5.3.3 当水池结构构件处于受弯、大偏心受压或大偏心受拉时，应控制裂缝宽度，并取作用效应的准永久组合按下列规定确定：

1 按正常使用极限状态验算时，作用效应准永久组合的设计

值应按下式计算：

$$S_d = C_{G1}G_{1k} + C_w F_{wk} + C_{sv} F_{sv,k} + C_{ep} F_{ep,k} + C_p F_{pk} + C_s \Delta_{sk} + \psi_{qQ} C_Q Q_k + \psi_{qm} C_m q_{mk} + \psi_{qw} C_{gw} q_{gw,k} + \psi_{qt} C_t F_{tk} \tag{5.3.3}$$

式中 ψ_{qQ}——顶板活荷载的准永久值系数；

ψ_{qm}——地面堆积荷载的准永久值系数；

ψ_{qw}——池外水压的准永久值系数；

ψ_{qt}——温(湿)度变化作用的准永久值系数。

2 按正常使用极限状态验算时，作用效应准永久组合的设计值，应根据水池型式及其工况按表 5.2.2 选取不同的作用项目组合。

5.3.4 钢筋混凝土水池结构构件的最大裂缝宽度不应大于下列规定的限值 w_{max}：

清水池、给水水质净化处理构筑物 0.25mm；

污水处理构筑物 0.20mm。

5.3.5 钢筋混凝土水池结构构件处于轴心受拉或小偏心受拉时，应按下式进行抗裂度验算：

1 对轴心受拉构件，应满足：

$$\frac{N_k}{A_n + \alpha_E A_s} \leqslant \alpha_{ct} f_{tk} \tag{5.3.5-1}$$

式中 N_k——构件在作用效应标准组合下，计算截面上的纵向力(N)；

f_{tk}——混凝土轴心抗拉强度标准值(N/mm²)，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定采用；

A_n——混凝土净截面面积(mm²)；

A_s——验算截面内纵向受拉钢筋的总截面面积(mm²)；

α_E——钢筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值；

α_{ct}——混凝土拉应力限制系数，取 0.87。

2　对小偏心受拉构件，应满足：

$$N_k \cdot \left(\frac{e_0}{\gamma W_0}+\frac{1}{A_0}\right)\leqslant \alpha_{ct} f_{tk} \tag{5.3.5-2}$$

式中　e_0——纵向拉力对截面重心的偏心距(mm)；

W_0——构件换算截面受拉边缘的弹性抵抗矩(mm^3)；

A_0——构件换算截面面积(mm^2)；

γ——受拉区混凝土的塑性影响系数，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定采用，矩形截面取 1.75。

5.3.6　钢筋混凝土水池结构构件处于受弯、大偏心受压或大偏心受拉时，其最大裂缝宽度可按附录 A 计算确定。

5.3.7　当钢筋混凝土水池构件支承竖向传动装置时，应按作用效应准永久组合进行变形验算，其挠度计算值应符合下式要求：

$$w_v \leqslant \frac{L}{750} \tag{5.3.7}$$

式中　w_v——支承构件的挠度计算值(cm)；

L——支承构件的计算跨度(cm)。

5.4　预应力混凝土水池计算

5.4.1　预应力混凝土水池结构构件均应采用后张法施工，主要采用千斤顶张拉（包括无粘结预应力）与绕丝张拉（仅用于圆形水池）两种。

5.4.2　预应力混凝土水池的主体结构构件应按承载能力和正常使用极限状态进行设计，同时应结合具体情况进行施工阶段验算。

5.4.3　预应力钢筋的张拉控制应力值 σ_{con}，应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定采用。

5.4.4　施加预应力时，混凝土的立方抗压强度不应低于设计混凝土强度等级的 75%。混凝土立方抗压强度应经试验确定。

5.4.5　后张法预加力产生的混凝土结构构件，其截面边缘法向应

力和相应阶段预应力钢筋的应力，可按下式计算：

由预加应力产生的混凝土截面边缘法向应力 σ_{pc}：

$$\sigma_{pc}=\frac{N_p}{A_N}\pm\frac{N_p e_{pn}}{I_n}y_n \quad (5.4.5\text{-}1)$$

相应阶段预应力钢筋的有效预应力 σ_{pe}：

$$\sigma_{pe}=\sigma_{con}-\sigma_l \quad (5.4.5\text{-}2)$$

式中 A_n——混凝土净截面面积(mm^2)；

I_n——混凝土净截面惯性距(mm^4)；

e_{pn}——混凝土净截面重心至预应力钢筋及非预应力钢筋合力点的距离(mm)；

y_n——混凝土净截面重心至所计算纤维处的距离(mm)；

σ_{con}——预应力钢筋张拉控制应力(N/mm^2)；

σ_l——相应阶段的预应力总损失值(N/mm^2)；

N_p——后张法构件预应力及非预应力钢筋的合力(kN)。

5.4.6 千斤顶张拉(包括无粘结预应力)时预应力钢筋中的预应力损失，可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 与现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ/T 92 的规定计算。

5.4.7 绕丝张拉预应力混凝土圆形水池时，预应力钢筋各阶段预应力损失的组合，可按表 5.4.7 采用。

表 5.4.7 各阶段预应力损失的组合

工作阶段	损失值的组合
混凝土预压前(第一批)的损失	张拉锚具变形损失 σ_{l1} 分批张拉损失 σ_{l5}
混凝土预压后(第二批)的损失	局部压陷损失 σ_{l2} 应力松驰损失 σ_{l3} 收缩徐变损失 σ_{l4}

5.4.8 绕丝张拉圆形水池预应力钢筋中的预应力损失可按下式

计算，但预应力总损失的取值不应小于 150N/mm²；

1 张拉锚具变形引起的预应力损失 σ_{l1} 可按下式计算：

$$\sigma_{l1}=\zeta_s\sigma_{con}(1-e^{-\mu\theta_p}) \tag{5.4.8-1}$$

式中 μ——钢筋与混凝土的摩擦系数，取 0.65；

θ_p——锚具变形影响区中钢筋曲线段弧长的中心夹角（弧度），

$$\theta_p=\frac{-S_l+\sqrt{\dfrac{2\alpha E_s}{\mu\sigma_{con}}(R_l-\mu S_l)}}{R_l-\mu S_l}$$

S_l——钢筋锚固处至钢筋与池壁接触点的直线长度（mm）；

α——锚具变形值（mm），对绕丝张拉一般采用的锥形锚夹具，取 5mm；

R_l——水池中心至预应力钢筋中心的距离（mm）；

E_s——钢筋弹性模量（N/mm²）；

ζ_s——预应力损失折减系数，取 $\dfrac{1}{n_1n_2}$（n_1 为每盘钢丝所绕圈数，n_2 为锚固槽的个数）。

2 混凝土局部压陷引起的预应力损失 σ_{l2}，可按下式计算；

$$\sigma_{l2}=E_s\frac{\Delta D}{D} \tag{5.4.8-2}$$

式中 D——水池的平均直径（mm）；

ΔD——池壁混凝土的径向局部压陷，取 0.2mm。

3 环向预应力钢筋的应力松驰损失 σ_{l3}，绕丝张拉一般采用碳素钢丝，可按下式计算：

$$\sigma_{l3}=\psi_t\left(0.40\frac{\sigma_{con}}{f_{ptk}}-0.20\right)\sigma_{con} \tag{5.4.8-3}$$

式中 f_{ptk}——预应力钢筋强度标准值；

ψ_t——系数，对一次张拉取 1.0；对超张拉取 0.9。

4 环向预应力钢筋由于混凝土收缩、徐变引起的预应力损失值 σ_{l4}，可按表 5.4.8 采用。

表 5.4.8 混凝土收缩、徐变引起的预应力损失值(N/mm²)

$\frac{\sigma_{pc}}{f_{cu}}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
σ_{l4}	20	30	40	50	60	90

注：1 σ_{pc}为混凝土的预压应力，此时预应力损失仅考虑混凝土预压前(第一批)的损失。

2 表中 f_{cu}为施加预应力时混凝土的立方抗压强度。

5 环向预应力钢筋由于分批张拉引起的平均预应力损失值σ_{l5}，可按下式计算：

$$\sigma_{l5}=0.5\alpha_{E}\mu_{y}\sigma_{con} \quad (5.4.8\text{-}4)$$

式中 μ_{y}——环向预应力钢筋的配筋率；

α_{E}——钢筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值。

5.4.9 装配式预应力混凝土圆形水池池壁与杯环的连接，在预加力张拉阶段，池壁的环向力可按池壁底端为自由边界计算，竖向弯距宜按池壁底端为铰接时计算弯矩的50%～70%采用。在闭水试验和使用阶段，池壁的环向力和竖向弯矩均应按池壁底端为铰接计算，但池壁底端的竖向弯矩宜按池壁沿高度的最大计算弯矩采用。

5.4.10 预应力混凝土水池结构构件的抗裂度，应按荷载效应标准组合进行验算，并符合下式要求：

$$\alpha_{cp}\sigma_{sk}-\sigma_{pc}\leqslant 0 \quad (5.4.10)$$

式中 σ_{sk}——在荷载效应标准组合下，计算截面边缘的法向应力；

α_{cp}——预压效应系数，对现浇混凝土结构取1.15；对预制拼装结构取1.25。

6 静力计算

6.1 矩形水池计算

6.1.1 结构的计算简图可按下列规定确定：

1 敞口水池

1)水池顶端无约束时应为自由端；水池与底板、条形基础或斗槽连接时均可视池壁为固端支承。

2)池壁顶端以走道板、工作平台、连系梁等作为支承结构时，应根据支承结构的横向刚度确定池壁顶端的支承条件为铰支或弹性支承。

2 有盖水池

1)当顶板为预制装配板搁置在池壁顶端而无其他连接措施时，顶板应视为简支于池壁，池壁顶端应视为自由端；当预制顶板与池壁顶端有抗剪钢筋连接时，该节点应视为铰支承；当顶板与池壁为整体浇筑并配置连续钢筋时，该节点应视为弹性固定；当仅配置抗剪钢筋时，该节点应视为铰支承。

2)池壁与底板、条形基础或斗槽连接，可视池壁为固端支承；对位于软地基上的水池，应考虑地基变形的影响，宜按弹性固定计算。

3 当池壁为双向受力时，相邻池壁间的连接应视为弹性固定。

6.1.2 池壁在侧向荷载作用下，单向或双向受力的区分条件应按表 6.1.2 的规定确定。

表 6.1.2 池壁在侧向荷载作用下单、双向受力的区分条件

壁板的边界条件	$\frac{L_B}{H_B}$	板的受力情况
四边支承	$0.5 \leqslant \frac{L_B}{H_B} \leqslant 2$	按双向计算

续表 6.1.2

壁板的边界条件	$\frac{L_B}{H_B}$	板的受力情况
四边支承	>2	按竖向单向计算，水平向角隅处负弯距按6.1.3规定计算
	<0.5	$H_B>2L_B$ 部分按横向单向计算， 板端 $H_B=2L_B$ 部分按双向计算， $H_B=2L_B$ 处可视为自由端
三边支承一边自由	$0.5\leqslant\frac{L_B}{H_B}\leqslant3$	按双向计算
	>3	按竖向单向计算，水平向角隅处负弯距按6.1.3规定计算
	<0.5	$H_B>2L_B$ 部分按横向单向计算， 底部 $H_B=2L_B$ 部分按双向计算， $H_B=2L_B$ 处可视为自由端

注：表中 L_B 为池壁壁板的长度，H_B 为壁板的高度。

6.1.3 当四边支承壁板的长度与高度之比大于2.0或三边支承、顶端自由壁板的长度与高度之比大于3.0时，其水平向角隅处的局部负弯矩 M_{cx} 应按下式计算(图6.1.3)

$$M_{cx}=m_c q H_B^2 \tag{6.1.3}$$

式中 M_{cx}——壁板水平向角隅处的局部负弯矩(kN·m/m)；

m_c——角隅处最大水平向弯矩系数，按表6.1.3采用；

q——均布荷载值或三角荷载的最大值(kN/m²)。

表 6.1.3 角隅处最大水平向弯矩系数 m_c

荷载类别	池壁顶端支承条件	壁板厚度	m_c
均布荷载	自由	$h_1=h_2$	−0.426
		$h_1=1.5h_2$	−0.218
	铰支	$h_1=h_2$	−0.076
		$h_1=1.5h_2$	−0.072
	弹性固定	$h_1=h_2$	−0.053

续表 6.1.3

荷载类别	池壁顶端支承条件	壁板厚度	m_c
三角形荷载	自由	$h_1=h_2$	−0.104
		$h_1=1.5h_2$	−0.054
	铰支	$h_1=h_2$	−0.035
		$h_1=1.5h_2$	−0.032
	弹性固定	$h_1=h_2$	−0.029

注：表中 h_1、h_2 分别为壁板底端及顶端的厚度。

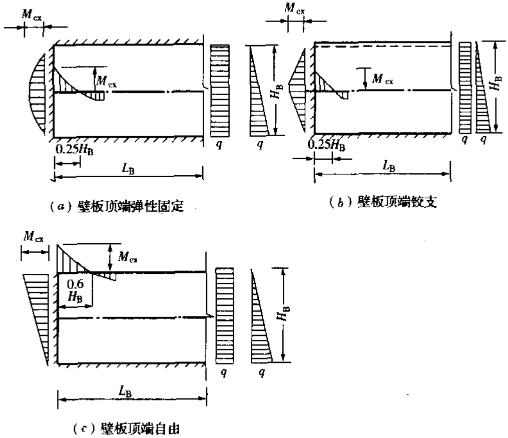


图 6.1.3 壁板水平向角隅处的局部负弯矩

6.1.4 当利用池壁顶端的走道板、工作平台作为池壁的支承构件时，走道板、工作平台和池壁的计算应符合下列规定(图 6.1.4)：

1 走道板或工作平台的厚度不宜小于 20cm，并应对其横向

受力进行计算。

2 走道板或工作平台宜作为池壁的弹性支承。该弹性支承的反力系数可按下式确定：

$$\alpha_T = \frac{b}{b + \frac{1}{128} m^4 \left(\frac{H_B}{n_g}\right)} \tag{6.1.4-1}$$

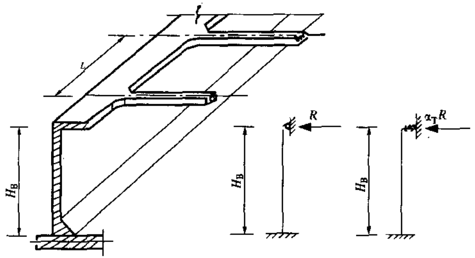
式中 α_T——弹性支承反力系数，即弹性支承反力与不动铰支承反力的比值；

m——走道板或工作平台的水平向计算跨度 L 与池壁高度 H_B 的比值，即 $m=\frac{L}{H_B}$；

H_B——池壁高度(m)；

b——池壁计算宽度(m)，取 $b=1$ 作为计算宽度；

n_g——走道板或工作平台的横截面惯性矩 I_L 与池壁截面惯性矩 I_H 的比值，即 $n_g=\frac{I_L}{I_H}$。



(a) 壁板和支承系统构造　(b) 池壁顶端为不动铰支承　(c) 池壁顶端为弹性支承

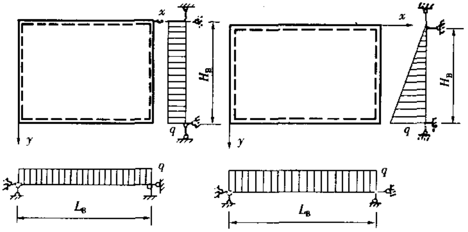
图 6.1.4 走道板、工作平台作为池壁的支承构件

3 当符合下式要求时，走道板或工作平台可视为池壁的不动

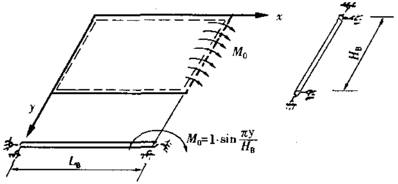
铰支承：

$$n_g \geqslant 0.25m^4\left(\frac{H_B}{b}\right) \qquad (6.1.4\text{-}2)$$

6.1.5 四边支承的双向板，在侧向荷载作用下的边缘反力，可按下列规定确定(图 6.1.5)：



(a) 四边铰支承双向板承受均布荷载　(b) 四边铰支承双向板承受三角形荷载



(c) 四边铰支承双向板承受边缘弯矩

图 6.1.5　四边支承双向板的侧向荷载

1　四边铰支承的双向板，在均布或三角形荷载作用下的边缘反力，可按下式计算：

$$R_{Lm}=\alpha_{Lm}qH_B \qquad (6.1.5\text{-}1)$$

$$R_{L0}=\alpha_{L0}qH_B \qquad (6.1.5\text{-}2)$$

$$R_{Hm}=\alpha_{Hm}qL_B \qquad (6.1.5\text{-}3)$$

$$R_{H0}=\alpha_{Ho}qL_B \qquad (6.1.5\text{-}4)$$

式中 R_{Lm}——板 L_B边缘上的最大边缘反力(kN/m)；

α_{Lm}——板 L_B边缘上的最大边缘反力系数，按附录 B 采用；

R_{L0}——板 L_B边缘上的平均边缘反力(kN/m)；

α_{L0}——板 L_B边缘上的平均边缘反力系数，按附录 B 采用；

R_{Hm}——板 H_B边缘上的最大边缘反力(kN/m)；

α_{Hm}——板 H_B边缘上的最大边缘反力系数，按附录 B 采用；

R_{H0}——板 H_B边缘上的平均边缘反力(kN/m)；

α_{H0}——板 H_B边级上的平均边缘反力系数，按附录 B 采用；

q——均布荷载值或三角形荷载的最大值(kN/m²)。

2 四边铰支承的双向板，在边缘弯矩作用下的边缘反力，可按下式计算：

$$R_{Ls}=\beta_{Ls}\frac{M_0}{H_B} \qquad (6.1.5\text{-}5)$$

$$R_{L0}=\beta_{L0}\frac{M_0}{H_B} \qquad (6.1.5\text{-}6)$$

$$R_{Hs}=\beta_{Hs}\frac{M_0}{L_B} \qquad (6.1.5\text{-}7)$$

$$R_{H0}=\beta_{H0}\frac{M_0}{L_B} \qquad (6.1.5\text{-}8)$$

式中 R_{Ls}——板 L_B边缘上中点的边缘反力(kN/m)；

β_{Ls}——板 L_B边缘上中点的边缘反力系数，按附录 B 采用；

R_{L0}——板 L_B边缘上的平均边缘反力(kN/m)；

β_{L0}——板 L_B边缘上的平均边缘反力系数，按附录 B 采用；

R_{Hs}——板 H_B边缘上中点的边缘反力(kN/m)；

β_{Hs}——板 H_B边缘上中点的边缘反力系数，按附录 B 采用；

R_{H0}——板 H_B边缘上的平均边缘反力(kN/m)；

β_{H0}——板 H_B边缘上的平均边缘反力系数，按附录 B 采用；

M_0——边缘弯矩的最大值(kN·m/m)。

3 具有各种边界条件的四边支承双向板的边缘反力，可按公式(6.1.5-1)～(6.1.5-8)的组合计算确定。

6.1.6 三边固定、顶端自由的双向板，在均布或三角形荷载作用下的边缘反力，可按下式计算(图 6.1.6)：

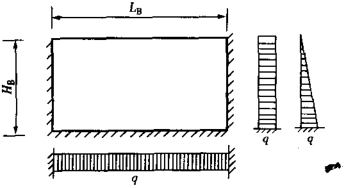


图 6.1.6 三边固定、顶端自由双向板的侧向荷载

$$R_{Lm}=\gamma_{Lm}qH_B \tag{6.1.6-1}$$

$$R_{L0}=\gamma_{L0}qH_B \tag{6.1.6-2}$$

$$R_{Hm}=\gamma_{Hm}qL_B \tag{6.1.6-3}$$

$$R_{H0}=\gamma_{H0}qL_B \tag{6.1.6-4}$$

式中 γ_{Lm}——板 L_{Lm}边缘上的最大边缘反力系数，按附录 C 采用；

γ_{L0}——板 L_{Lm}边缘上的平均边缘反力系数，按附录 C 采用；

γ_{Hm}——板 H_B边缘上的最大边缘反力系数，按附录 C 采用；

γ_{H0}——板 H_B边缘上的最大边缘反力系数，按附录 C 采用；

6.1.7 在四边支承的双向受力壁板间，节点按弹性固定作整体连续分析时，宜按四边铰支的双向板在侧向荷载和各种边缘弯矩共同作用下迭加组合计算。四边铰支的双向板，在边缘弯矩作用下的跨中弯矩，可按下式计算(图 6.1.7)：

$$M_x=m_xM_0 \tag{6.1.7-1}$$

$$M_y=m_yM_0 \tag{6.1.7-2}$$

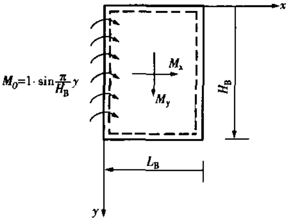


图 6.1.7　四边铰支双向板在边缘弯矩作用下的计算

式中　M_x——x 方向板的跨中弯矩(kN・m)；

M_y——y 方向板的跨中弯矩(kN・m)；

M_0——边缘弯矩(kN・m)，四边支承板的边缘弯矩一般按半波正弦分布；

m_x、m_y——受单向边缘弯矩作用时，相应于 x 与 y 方向的跨中弯矩系数，按表 6.1.7 采用。

表 6.1.7　单位边缘弯矩(M_0)作用下的跨中弯矩系数

$\frac{H_B}{L_B}$	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
m_x	−0.013	−0.006	0.009	0.030	0.053	0.080	0.107	0.133
m_y	0.063	0.090	0.113	0.131	0.144	0.153	0.158	0.160
$\frac{H_B}{L_B}$	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
m_x	0.159	0.183	0.206	0.227	0.247	0.264	0.281	0.296
m_y	0.162	0.162	0.159	0.157	0.154	0.150	0.147	0.144

注：当 x 轴(板 L_B 边缘)上作用 $M_0=1\cdot\sin\frac{\pi x}{L_B}$ 时，表内 $\frac{H_B}{L_B}$ 应以 $\frac{L_B}{H_B}$ 代替。

6.1.8　当水池的顶、底板为无梁板的结构时，其内力分析宜按等代框架进行计算；对三跨以上、柱距相等的多跨无梁板结构，可按经验系数确定其内力。等代框架的内力和截面配筋计算应符合下列规定：

1　等代框架的计算单元(图 6.1.8)：框架的计算宽度应取无梁板的柱距；框架柱的计算高度可取池壁内净高度减去柱帽高度；框架横梁的计算跨度，可按下式确定：

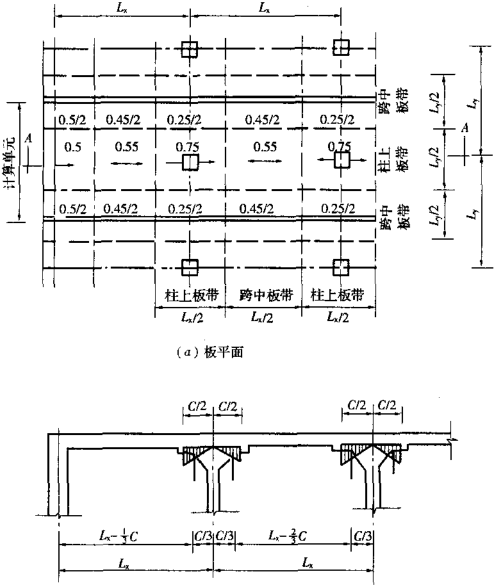


图 6.1.8　无梁板结构按等代框架计算

$$L_1 = L - \frac{C}{3} \qquad (6.1.8\text{-}1)$$

$$L_2 = L - \frac{2C}{3} \tag{6.1.8-2}$$

式中 L_1——等代框架边跨的计算跨度(m)；

L_2——等代框架中间各跨的计算跨度(m)；

L——无梁板结构的柱中距(m)；

C——无梁板结构柱帽的计算宽度(m)。

2 等代框架各部位的板带计算弯矩值，应为相应各部位的框架计算弯矩乘以板带弯矩分配系数；板带弯矩分配系数可按表6.1.8采用。

表 6.1.8 板带弯矩分配系数

板带部位	横梁支座	横梁跨中	横梁边支座
柱上板带	0.75	0.55	0.50
跨中板带	0.25	0.45	0.50

3 对设有变形缝(伸缩缝、沉降缝)的无梁板结构，其等代框架在侧向荷载作用下的内力，应根据各框架和边缘构件(边墙、边框架等)的相对刚度，按空间工作计算。

4 等代框架各部位的截面配筋，可按相应各部位板带计算弯矩的70%计算。位于变形缝处框架边缘的截面配筋，应按该处板带计算弯矩的100%计算，且应将上、下层钢筋伸至板端。

5 框架柱可按中心受压构件计算。柱帽的任意截面，均应满足有效截面的冲切强度要求。

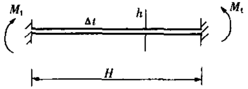
6.1.9 对单向受力壁板，在壁面温差或湿度当量温差 Δt 作用下的内力，应按下式计算(图 6.1.9)：

1 壁板两端固定支承

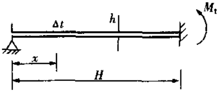
$$M_t = \frac{\alpha_c \Delta t E_c h^2}{12} \eta_s \tag{6.1.9-1}$$

式中 M_t——壁面温差或湿度当量温差 Δt 引起的弯矩(kN·m/m)；

α_c——混凝土线膨胀系数；



（a）壁板两端固定支承



（b）壁板一端固定一端铰支承

图 6.1.9 单向受力壁板在壁面温差或湿度当量温差作用下的内力计算

E_c——混凝土弹性模量（kN/m^2）；

η_s——折减系数，按 0.65 采用；

h——壁板厚度（m）。

2 壁板一端固定，另一端铰支承

$$M_t=\frac{\alpha_c \Delta t E_c h^2}{8}\left(\frac{x}{H}\right)\eta_s \qquad (6.1.9\text{-}2)$$

式中 x——计算截面至铰支承的距离（m）；

H——壁板的计算长度（m）。

6.1.10 对双向受力壁板，在壁面温差或湿度当量温差（Δt）作用下的内力，应按下式计算（图 6.1.10）：

1 壁板四边固定支承

$$M_t=\frac{\alpha_c \Delta t E_c h^2}{12(1-v_c)}\eta_s \qquad (6.1.10\text{-}1)$$

式中 v_c——混凝土的泊桑比。

2 壁板四边铰支承和壁板三边固定、顶端铰支承或顶端自由

$$M_{xt}=k_{xt}\alpha_c \Delta t E_c h^2 \eta_s \qquad (6.1.10\text{-}2)$$

$$M_{yt}=k_{yt}\alpha_c \Delta t E_c h^2 \eta_s \qquad (6.1.10\text{-}3)$$

式中 M_{xt}——壁面温差或湿度当量温差引起壁板 x 方向的弯矩（kN·m/m）；

M_{yt}——壁面温差或湿度当量温差引起壁板 y 方向的弯矩（kN·m/m）；

k_{xt}、k_{yt}——壁板 x 方向和 y 方向的弯矩系数，按附录 D 采用。

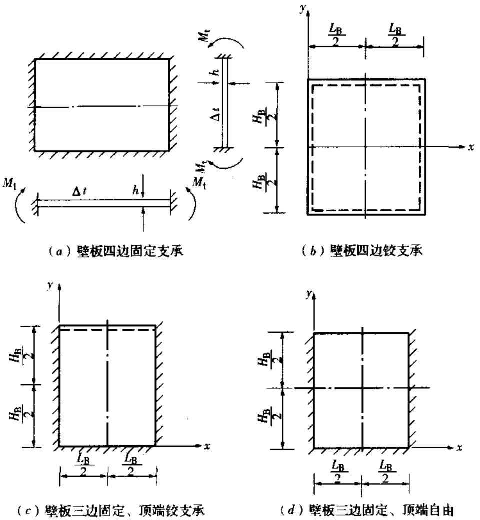


图 6.1.10 双向受力壁板在壁面温差或湿度当量温差作用下的内力计算简图

6.1.11 当池壁为双向受力壁板且承受非齐顶水(土)压力时，其弯矩和边缘反力可按下式计算(图 6.1.11)：

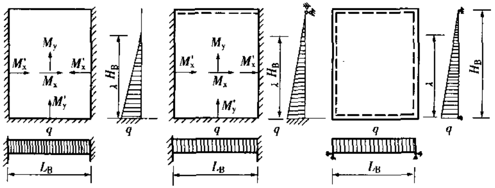
1 三边固定、顶端自由或铰支承双向板的弯矩

$$M_x = m_x q L_B^2 \quad (6.1.11\text{-}1)$$

$$M'_x = m'_x q L_B^2 \quad (6.1.11\text{-}2)$$

$$M_y = m_y q H_B^2 \quad (6.1.11\text{-}3)$$

$$M'_y = m'_y q H_B^2 \quad (6.1.11\text{-}4)$$



（*a*）三边固定、顶端自由　（*b*）三边固定、顶端铰支承　（*c*）四边铰支承

图 6.1.11　双向板承受非齐顶水(土)压力的计算

式中　M_x——三边固定、顶端自由或铰支承双向板的水平向跨中弯矩(kN·m/m)；

M'_x——三边固定、顶端自由或铰支承双向板的水平向支座弯矩(kN·m/m)；

M_y——三边固定、顶端自由或铰支承双向板的竖向跨中弯矩(kN·m/m)；

M'_y——三边固定、顶端自由或铰支承双向板的竖向支座弯矩(kN·m/m)；

m_x、m'_x、m_y、m'_y——弯矩系数，按附录 E 表 E.0.1、附表 E.0.2 采用。

2　三边固定、顶端自由双向板的边缘反力

$$R_{Lm}=\gamma_{Lm}qH_B \quad (6.1.11\text{-}5)$$

$$R_{L0}=\gamma_{L0}qH_B \quad (6.1.11\text{-}6)$$

$$R_{Hm}=\gamma_{Hm}qL_B \quad (6.1.11\text{-}7)$$

$$R_{H0}=\gamma_{H0}qL_B \quad (6.1.11\text{-}8)$$

式中　γ_{Lm}、γ_{L0}、γ_{Hm}、γ_{H0}——边缘反力系数，按附录 E 表 E.0.3 采用。

3 四边铰支承双向板的边缘反力

$$R_{Ls}=\xi_{Ls}qH_B \quad (6.1.11\text{-}9)$$

$$R_{L0}=\xi_{L0}qH_B \quad (6.1.11\text{-}10)$$

$$R_{Hs}=\xi_{Hs}qL_B \quad (6.1.11\text{-}11)$$

$$R_{H0}=\xi_{H0}qL_B \quad (6.1.11\text{-}12)$$

式中 ξ_{Ls}、ξ_{L0}、ξ_{Hs}、ξ_{H0}——边缘反力系数，按附录 E 表 E.0.4 采用。

6.2 圆形水池计算

6.2.1 结构计算简图可按下列规定确定：

1 敞口水池的池壁顶端应视为自由端。

2 池壁与顶板的连接：

1）当顶板预制搁置在池壁顶端，而无其他连接措施时，顶板应视为简支于池壁，池壁顶端应视为自由端；

2）当预制顶板与池壁顶端设有抗剪钢筋连接时，池壁与顶板的连接点应视为铰支承；

3）当池壁与顶板为整体浇筑并配置连续钢筋时，池壁与顶板的连接节点应视为弹性固定；当仅配置抗剪钢筋时，该节点应视为铰支承。

3 当池壁为组合壳体时，壳体间的连接应视为弹性固定。

4 当池壁与环梁、底板整体连接时，可视为弹性固定；当池壁底端为独立环形基础时，池壁底端可视为固定支承。

6.2.2 组合壳体水池中圆柱壳、圆锥壳和球壳的内力，应按壳体的薄膜内力和边缘约束引起的内力迭加计算。壳体的边缘约束力，应根据组合壳体的节点变形协调条件求解。

6.2.3 圆柱壳池壁在侧向荷载作用下的受力条件，应按表 6.2.3 确定。

表 6.2.3 圆柱壳池壁在侧向荷载作用下的受力条件

$\frac{H}{S}$	圆柱壳的内力计算
$\frac{H}{S}\leqslant 1$	按竖向单向计算
$1<\frac{H}{S}\leqslant 15$	按壳体计算环向和竖向内力
$\frac{H}{S}>15$	当顶端为自由端时，$\frac{H}{S}>15$ 部分的圆柱壳，按无约束的自由圆柱壳计算薄膜内力

注：表中 H 为圆柱壳池壁的高度，S 为圆柱壳的弹性特征系数，即 $S=0.76\sqrt{Rh}$，R 为圆柱壳计算半径，h 为池壁厚度。

6.2.4 周边铰支承的钢筋混凝土圆板承受均布荷载时，其弯矩可按下式计算：

$$M_r=\frac{19}{96}(1-\rho^2)qR^2 \tag{6.2.4-1}$$

$$M_t=\frac{1}{96}(19-9\rho^2)qR^2 \tag{6.2.4-2}$$

式中 M_r——圆板任意截面上的径向弯矩(kN·m/m)；

M_t——圆板任意截面上的切向弯矩(kN·m/m)；

q——均布荷载(kN/m²)；

ρ——圆板任意截面的计算半径与圆板计算半径的比值；

R——圆板的计算半径(m)。

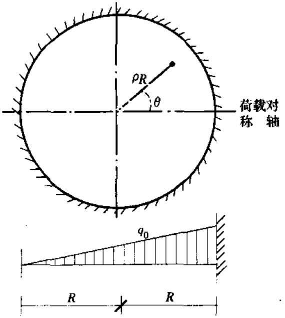
6.2.5 周边固定支承的钢筋混凝土圆板承受均布荷载时，其弯矩应按下式计算：

$$M_r=\frac{1}{96}(7-19\rho^2)qR^2 \tag{6.2.5-1}$$

$$M_t=\frac{1}{96}(7-9\rho^2)qR^2 \tag{6.2.5-2}$$

6.2.6 周边固定支承的圆板承受三角形荷载时，其弯矩可按下式计算(图 6.2.6)：

$$M_r=\frac{q_0R^2}{16}\left[\frac{7}{6}-\frac{19}{6}\rho^2+\left(1-\frac{5}{3}\rho^2\right)\rho\cos\theta+\frac{1}{18}(1-\rho^2)\rho\cos\theta\right] \tag{6.2.6-1}$$



图书馆 6.2.6 周边固定支承的圆板承受三角形荷载的计算

$$M_t=\frac{q_0R^2}{16}\left[\frac{7}{6}-\frac{9}{6}\rho^2+\frac{1}{3}(1-\rho^2)\rho\cos\theta+\frac{1}{6}\left(1-\frac{5}{3}\rho^2\right)\rho\cos\theta\right] \tag{6.2.6-2}$$

$$M_{rt}=\frac{5}{288}q_0R^2(\rho^2-1)\rho\sin\theta \tag{6.2.6-3}$$

式中 M_{rt}——圆板任意截面上的扭矩(kN·m/m)；

q_0——三角形荷载的平均值(kN/m²)；

θ——荷载对称轴至计算截面的角度。

6.2.7 钢筋混凝土圆板的边缘抗挠刚度应按下式计算：

$$S_p=0.1\frac{E_c h_p^3}{R} \tag{6.2.7}$$

式中 S_p——圆板的边缘抗挠刚度(kN·m/m)，即圆板边缘产生单位转角时引起该处的边缘弯矩；

h_p——钢筋混凝土圆板的厚度。

6.2.8 钢筋混凝土圆形等厚池壁的边缘抗挠刚度应按下式计算：

$$S_w = k\frac{E_c h^3}{H} \tag{6.2.8}$$

式中 S_w——池壁的边缘抗挠刚度(kN·m/m),即池壁边缘产生单位转角时引起该处的边缘弯矩;

h——钢筋混凝土圆池的池壁厚度;

k——池壁刚度系数,按表 6.2.8 采用;

H——池壁高度。

表 6.2.8 池壁刚度系数 k

$\frac{H^2}{Dh}$	k		$\frac{H^2}{Dh}$	k	
	一端自由一端固定	两端固定		一端自由一端固定	两端固定
0.2	0.0465	0.3444	9.0	0.9504	0.5906
0.4	0.1353	0.3489	10.0	1.0020	1.0020
0.6	0.2112	0.3562	12.0	1.0980	1.0980
0.8	0.2663	0.3661	14.0	1.1850	1.1850
1.0	0.3072	0.3782	16.0	1.2670	1.2670
1.5	0.3812	0.4158	20.0	1.4170	1.4170
2.0	0.4404	0.4597	24.0	1.5520	1.5520
3.0	0.5431	0.5504	28.0	1.6760	1.6760
4.0	0.6311	0.6342	32.0	1.7920	1.7920
5.0	0.7075	0.7090	40.0	2.0040	2.0040
6.0	0.7758	0.7765	48.0	2.1950	2.1950
7.0	0.8382	0.8386	56.0	2.3710	2.3710
8.0	0.8961	0.8963			

注:表中 H 为池壁高度,D 为水池的计算直径。

7 构造要求

7.1 一般规定

7.1.1 混凝土水池的受力壁板与底板厚度不宜小于20cm，预制壁板的厚度可采用15cm。顶板厚度不宜小于15cm。

7.1.2 混凝土水池受力钢筋的混凝土保护层最小厚度应符合表7.1.2的规定。

表7.1.2 钢筋混凝土保护层最小厚度(mm)

构件名称	工作条件	保护层最小厚度
板、壳	与水、土接触	30
	与污水接触	35
梁、柱	与水、土接触	35
	与污水接触	40
底板	有垫层的下层筋	40
	无垫层的下层筋	70

注：当构件外表有水泥砂浆抹面或其他涂料等质量确有保证的保护措施时，表列保护层厚度可减小10mm。

7.1.3 矩形钢筋混凝土水池的长度、宽度较大时，应设置适应温度变化的伸缩缝。伸缩缝的间距可按表7.1.3采用。

表 7.1.3 矩形钢筋混凝土水池的伸缩缝最大间距

结构类别 \ 工作条件 \ 地基类别	岩基		土基	
	露天	地下式或有保温措施	露天	地下式或有保温措施
装配整体式	20	30	30	40
现浇	15	20	20	30

注：1 对地下式或有保温措施的水池，施工闭水外露时间较长时，应按露天条件设置伸缩缝。

2 当在混凝土中加掺合料或设置混凝土后浇带以减少收缩变形时，伸缩缝间距可根据经验确定，不受表列数值限制。

7.1.4 水池的变形缝(伸缩缝或沉降缝)应做成贯通式，在同一剖面上连同顶板、底板一起断开。变形缝的宽度可按计算确定。伸缩缝的宽度不宜小于 20mm；沉降缝的宽度不应小于 30mm。

7.1.5 水池伸缩缝或沉降缝的防水构造应由止水带、填缝板和嵌缝材料组成。止水带与构件混凝土表面的距离不宜小于止水带埋入混凝土内的长度。当构件厚度较小时，宜在缝的端部局部加厚。

7.1.6 钢筋接头应符合下列要求：

1 对具有抗裂性要求的构件，其受力钢筋不宜采用非焊接的搭接接头；

2 受力钢筋的接头宜优先采用焊接或机械接头；

3 受力钢筋的接头位置，应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定相互错开。必要时，同一截面上绑扎钢筋的搭接接头面积百分率可达到 50%，相应的搭接长度应增加 30%。接头应设置在构件受力较小处。

7.1.7 敞口水池顶端宜配置水平向加强钢筋。水平向加强钢筋内外两侧各不应少于 3 根，间距不宜大于 10cm，直径不应小于池壁受力钢筋，且不宜小于 16mm。

7.1.8 现浇钢筋混凝土水池池壁的拐角及与顶、底板的交接处，宜设置腋角。腋角边宽不宜小于 150mm。腋角内配置斜筋的直

径与池壁受力筋相同，间距宜为池壁受力筋间距的两倍。

7.1.9 钢筋混凝土水池各部位构件的受力钢筋，应符合下列规定：

1 受力钢筋的最小配筋百分率，应符合现行《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

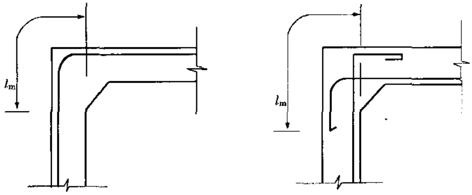
2 受力钢筋宜采用直径较小的钢筋配置，每米宽度内不宜小于 4 根，且不宜超过 10 根。

7.1.10 钢筋混凝土水池构件内的构造钢筋，应符合下列规定：

1 截面厚度不大于 50cm 时，其里、外侧构造钢筋的配筋百分率均不应小于 0.15%；

2 截面厚度大于 50cm 时，其里、外侧均可按截面厚度 50cm 配置 0.15%构造钢筋。

7.1.11 现浇钢筋混凝土水池池壁拐角处的钢筋，应有足够长度锚入相邻池壁或顶内，锚固长度 l_m 应自池壁的内侧算起(图 7.1.11)。其最小锚固长度，应按《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定采用。



(*a*) 外层筋　　(*b*) 里层筋

图 7.1.11 池壁拐角处钢筋的锚固

7.1.12 当钢筋混凝土水池采用构造底板时，其厚度不宜小于 120mm。底板顶面应配置构造钢筋，配筋量不宜少于每米 5 根

直径 8mm 的钢筋。

7.2 预应力混凝土水池

7.2.1 预应力混凝土水池的端部锚固区，应进行局部受压承载力计算，并配置间接钢筋，其体积配筋率不应小于 0.5%。

7.2.2 预应力钢筋的锚固应选用可靠的锚具，其质量要求应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定。无粘结预应力筋必须采用 1 类锚具，其组装件的锚固性能应符合现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ/T 92 的规定。

7.2.3 预应力钢筋的预留孔道应符合下列规定：

1 孔道之间的净距不应小于 25mm。孔道至构件边缘的净距不应小于 25mm，且不宜小于孔道直径的一半；

2 孔道的直径应比预应力钢筋束外径，钢筋对焊接头的外径或需穿过孔道的锚具外径大 10～15mm；

3 须灌浆的预应力混凝土构件，在需要的部位应设置灌浆孔或排气孔，孔距不宜大于 12m。

7.2.4 孔道灌浆应密实，水泥浆强度等级不宜低于 M20，水灰比宜采用 0.4～0.45。为减少收缩，宜掺入 0.01%水泥用量的铝粉。

7.2.5 预应力构件的张拉部位应考虑锚具的布置、张拉设备的尺寸和承受局部受压的要求，必要时应适当加大。外露金属锚具应采取涂刷油漆、砂浆封闭等防锈措施。

7.2.6 当无粘结预应力筋长度超过 25m 时，宜采用两端张拉；当长度超过 50m 时，宜采取分段张拉和锚固。

7.2.7 无粘结预应力筋应严防氯化物侵蚀。在混凝土施工中，不得使用含有氯离子的外加剂；锚固区后浇混凝土或砂浆不应含有氯化物。

7.2.8 无粘结预应力筋张拉完毕后，应及时对锚固区进行保护处

理，再将锚固区封闭。其质量应符合现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ/T 92 的规定。

7.2.9 当预应力混凝土水池池壁上的孔洞直径小于预应力钢筋间距的两倍时，预应力钢筋应绕过孔洞布置，钢筋的间距可局部加密；当孔洞直径大于预应力钢筋间距的两倍时，孔洞两侧应设置锚固架，锚固预应力钢筋。

7.2.10 对绕丝张拉预应力混凝土圆形水池，其环向预应力钢筋的外侧应作喷浆保护层。砂浆强度不宜低于 M30，并应在池内满水条件下喷浆。喷浆层的厚度，应满足预应力钢筋净保护层厚度不小于 20mm 的要求。

7.2.11 对预应力混凝土圆形水池，其环向预应力钢筋的布置和锚固应符合下列规定：

1 当采用千斤顶张拉时，宜将相邻两排环向预应力钢筋的锚固位置交错布置。

2 当千斤顶张拉采用螺帽锚固时，锚固肋间相应的圆弧中心角不宜大于 90°。

3 当采用绕丝张拉时，环向预应力钢筋的锚固槽应沿池壁周边均匀布置。

4 当采用绕丝张拉时，池壁底端不能绕丝的部位，应在附近局部加密环向预应力钢筋。

7.2.12 圆形水池的装配式池壁，应符合下列要求：

1 壁板厚度不应小于 150mm，两侧应做齿槽，壁板外表面宜制作成圆弧形；

2 壁板间的接缝宽度，不宜大于板宽的$\frac{1}{10}$。缝内浇筑的细石混凝土或膨胀性混凝土，其强度等级应比壁板的混凝土提高一级；

3 壁板与底板宜采用杯槽连接（图 7.2.12）。杯环外侧的环口宜在张拉预应力的钢筋后浇筑；

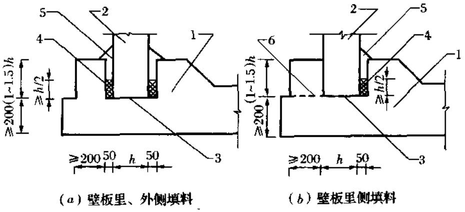


图 7.2.12 壁板与底板的杯槽连接

1-杯槽；2-预制壁板；3-杯槽底部抹平，干铺滑动层；

4-柔性防水填料；5-刚性填料；6-后浇缝

4 杯槽的高度宜尽量减小。杯槽内安装壁板后，壁板里、外侧的填料应在施加预应力后填实。

附录 A　钢筋混凝土矩形截面处于受弯或大偏心受压(拉)状态时的最大裂缝宽度计算

A.0.1　受弯、大偏心受拉或受压构件的最大裂缝宽度，可按下列公式计算：

$$w_{max}=1.8\psi\frac{\sigma_{sq}}{E_s}\left(1.5c+0.11\frac{d}{\rho_{te}}\right)(1+\alpha_1)\upsilon \quad (A.0.1\text{-}1)$$

$$\psi=1.1-\frac{0.65f_{tk}}{\rho_{te}\sigma_{sq}\alpha_2} \quad (A.0.1\text{-}2)$$

式中　w_{max}——最大裂缝宽度(mm)；

ψ——裂缝间受拉钢筋应变不均匀系数，当 $\psi<0.4$ 时，取 0.4；当 $\psi>1.0$ 时，取 1.0；

σ_{sq}——按作用效应准永久组合计算的截面纵向受拉钢筋应力(N/mm^2)；

E_s——钢筋的弹性模量(N/mm^2)；

c——最外层纵向受拉钢筋的混凝土保护层厚度(mm)；

d——纵向受拉钢筋直径(mm)。当采用不同直径的钢筋时，应取 $d=\frac{4A_s}{u}$，其中 u 为纵向受拉钢筋截面的总周长(mm)，A_s 为受拉钢筋截面面积(mm^2)；

ρ_{te}——以有效受拉混凝土截面面积计算的纵向受拉钢筋配筋率，即 $\rho_{te}=\frac{A_s}{0.5bh}$，其中 b 为截面计算宽度，h 为截面计算高度，A_s 对偏心受拉构件取偏心力一侧的钢筋截面面积；

α_1——系数，对受弯、大偏心受压构件取 $\alpha_1=0$；对大偏心受拉构件取 $\alpha_1=0.28\left[\frac{1}{1+\frac{2e_0}{h_0}}\right]$；

e_0——纵向力对截面重心的偏心距(mm)；

h_0——计算截面的有效高度(mm)；

υ——纵向受拉钢筋表面特征系数，对光面钢筋取 1.0；对变形钢筋取 0.7；

f_{tk}——混凝土轴心抗拉强度标准值(N/mm^2)

α_2——系数，对受弯构件取 $\alpha_2=1.0$，对大偏心受压构件取 $\alpha_2=1-0.2\dfrac{h_0}{e_0}$，对大偏心受拉构件取 $\alpha_2=1+0.35\dfrac{h_0}{e_0}$。

A.0.2 受弯、大偏心受压、大偏心受拉构件的计算截面纵向受拉钢筋应力 σ_{sq}，可按下列公式计算：

1 受弯构件的纵向受拉钢筋应力

$$\sigma_{sq}=\frac{M_q}{0.87A_sh_0} \quad (A.0.2\text{-}1)$$

式中 M_q——在作用效应准永久组合下，计算截面处的弯矩(N·mm)。

2 大偏心受压构件的纵向受拉钢筋应力

$$\sigma_{sq}=\frac{M_q-0.35N_q(h_0-0.3e_0)}{0.87A_sh_0} \quad (A.0.2\text{-}2)$$

式中 N_q——在作用效应准永久组合下，计算截面上的纵向力(N)。

3 大偏心受拉构件的纵向受拉钢筋应力

$$\sigma_{sq}=\frac{M_q+0.5N_q(h_0-a')}{A_s(h_0-a')} \quad (A.0.2\text{-}3)$$

式中 a'——位于偏心力一侧的钢筋至截面近侧边缘的距离(mm)。

附录B 四边铰支承双向板在均布、三角形荷载或边缘弯矩作用下的边缘反力系数

表 B.0.1 四边铰支承双向板在均布荷载作用下的边缘反力系数

(α_{Lm}、α_{Lo}、α_{Hm}、α_{Ho})

边缘反力系数	L_B/H_B						
	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
α_{Lm}	0.2599	0.3660	0.4362	0.4766	0.4974	0.5071	0.5107
α_{Lo}	0.1905	0.2702	0.3274	0.3652	0.3903	0.4075	0.4199
α_{Hm}	0.5107	0.4852	0.4362	0.3829	0.3344	0.2935	0.2599
α_{Ho}	0.4199	0.3747	0.3274	0.2835	0.2460	0.2153	0.1905

注：当$\frac{L_B}{H_B}>2.0$时，H_B边上的反力系数可按$\frac{L_B}{H_B}=2.0$计算。

表 B.0.2 四边铰支承双向板在三角形荷载作用下的边缘反力系数

(α_{Lm}、α_{Lo}、α_{Hm}、α_{Ho})

边缘反力系数		L_B/H_B						
		0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
α_{Lm}	$x=L_B/2, y=0$	0.0542	0.0997	0.1334	0.1537	0.1645	0.1697	0.1717
	$x=L_B/2, y=H_B$	0.2057	0.2662	0.3029	0.3229	0.3329	0.3374	0.3390
α_{Lo}	$y=0$	0.0363	0.0674	0.0918	0.1083	0.1194	0.1269	0.1323
	$y=H_B$	0.1540	0.2028	0.2356	0.2568	0.2700	0.2806	0.2876
α_{Hm}	$(y=2\cdot H_B/3)$	0.3271	0.2913	0.2519	0.2166	0.1872	0.1635	0.1444
α_{Ho}		0.2099	0.1873	0.1637	1.1417	0.1230	0.1076	0.0951

注：当$\frac{L_B}{H_B}>2.0$时，H_B边上的反力系数可按$\frac{L_B}{H_B}=2.0$计算。

表 B.0.3　四边铰支承双向板在边缘弯矩作用下的边缘反力系数

(β_{Ls}、β_{Lo}、β_{Hs}、β_{Ho})

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">边缘反力系数</th><th colspan="7">L_B/H_B</th></tr>
<tr><th>0.50</th><th>0.75</th><th>1.00</th><th>1.25</th><th>1.50</th><th>1.75</th><th>2.00</th></tr>
<tr><td colspan="2">β_{Ls}</td><td>−1.9196</td><td>−1.2611</td><td>−0.7719</td><td>−0.4527</td><td>−0.2565</td><td>−0.1396</td><td>−0.0717</td></tr>
<tr><td colspan="2">β_{Lo}</td><td>−2.2311</td><td>−1.7689</td><td>−1.4033</td><td>−1.1391</td><td>−0.9507</td><td>−0.8136</td><td>−0.7106</td></tr>
<tr><td rowspan="2">β_{Hs}</td><td>$x=0$　$y=H_B/2$</td><td>−0.8853</td><td>−1.7134</td><td>−0.5161</td><td>−0.3428</td><td>−0.2157</td><td>−0.1294</td><td>−0.0751</td></tr>
<tr><td>$x=L_B$　$y=H_B/2$</td><td>1.1932</td><td>1.4840</td><td>1.8703</td><td>2.3025</td><td>2.7523</td><td>3.2080</td><td>3.6654</td></tr>
<tr><td rowspan="2">β_{Ho}</td><td>$x=0$</td><td>−0.5636</td><td>−0.4542</td><td>−0.3286</td><td>−0.2189</td><td>−0.1373</td><td>−0.0824</td><td>−0.0478</td></tr>
<tr><td>$x=L_B$</td><td>0.7596</td><td>0.9447</td><td>1.1907</td><td>1.4658</td><td>1.7522</td><td>2.0423</td><td>2.3335</td></tr>
</table>

注：1　表中负值表示边缘反力指向板下。

2　当$\frac{L_B}{H_B}>2.0$时，M_o 作用边上(即 $x=L_B$)R_{Hs}、R_{Ho}的系数可按$\frac{L_B}{H_B}=2.0$计算。

附录C 三边固定、顶端自由的双向板在均布或三角形荷载或边缘弯矩作用下的边缘反力系数

表 C.0.1 三边固定、顶端自由的双向板在均布荷载作用下的边缘反力系数

(γ_{Lm}、γ_{Lo}、γ_{Hm}、γ_{Ho})

边缘反力系数	L_B/H_B					
	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	3.00
γ_{Lm}	0.2301	0.3410	0.4572	0.6725	0.8450	1.0123
γ_{Lo}	0.1325	0.1906	0.2553	0.3769	0.4836	0.6408
γ_{Hm}	0.5046	0.5844	0.5331	1.5727	0.6057	0.5422
γ_{Ho}	0.4337	0.4552	0.3723	0.3115	0.2581	0.1867

注：当$\frac{L_B}{H_B}>3.0$时，H_B边上的反力系数可按$\frac{L_B}{H_B}=3.0$计算。

表 C.0.2 三边固定、顶端自由的双向板在三角形荷载作用下的边缘反力系数

(γ_{Lm}、γ_{Lo}、γ_{Hm}、γ_{Ho})

边缘反力系数	L_B/H_B					
	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	3.00
γ_{Lm}	0.2336	0.2645	0.3236	0.4055	0.4584	0.5047
γ_{Lo}	0.1220	0.1603	0.2018	0.2654	0.3111	0.3694
γ_{Hm}	0.2988	0.3160	0.2421	0.1695	0.1282	0.1041
γ_{Ho}	0.1909	0.1911	0.1491	0.1172	0.0944	0.0625

注：当$\frac{L_B}{H_B}>3.0$时，H_B边上的反力系数可按$\frac{L_B}{H_B}=3.0$计算。

附录D　双向受力壁板在壁面温差或湿度当量温差作用下的弯矩系数

表D.0.1　四边铰支承双向板的弯矩系数(k_{xt}、k_{yt})

计算截面 / 弯矩系数 / L_B/H_B	$x=0,y=0$		$x=L_B/2,y=0$		$x=L_B/2,y=\pm H_B/2$	
	k_{xt}	k_{yt}	k_{xt}	k_{yt}	k_{xt}	k_{yt}
0.50	0	0.0833	0.0742	0.0092	0.0833	0
0.75	0	0.0833	0.0578	0.0256	0.0833	0
1.00	0	0.0833	0.0417	0.0417	0.0833	0
1.25	0	0.0833	0.0291	0.0543	0.0833	0
1.50	0	0.0833	0.0199	0.0635	0.0833	0
1.75	0	0.0833	0.0136	0.0698	0.0833	0
2.00	0	0.0833	0.0092	0.0742	0.0833	0

表D.0.2　三边固定、顶端铰支承双向板的弯矩系数(k_{xt}、k_{yt})

计算截面 / 弯矩系数 / L_B/H_B	$x=0$, $y=H_B/2$		$x=L_B/2$, $y=H_B/2$		$x=L_B/2$, $y=0$		$x=L_B/2$, $y=H_B$	
	k_{xt}	k_{yt}	k_{xt}	k_{yt}	k_{xt}	k_{yt}	k_{xt}	k_{yt}
0.50	0.1045	0.0987	0.0973	0.0998	0.0972	0.1000	0.0833	0.0000
0.75	0.1139	0.0999	0.0926	0.1003	0.0982	0.1021	0.0833	0.0000
1.00	0.1233	0.1008	0.0885	0.0961	0.0981	0.1094	0.0833	0.0000
1.25	0.1288	0.1011	0.0869	0.0917	0.0993	0.1175	0.0833	0.0000
1.50	0.1344	0.1016	0.0853	0.0873	0.1008	0.1286	0.0833	0.0000
1.75	0.1329	0.1013	0.0877	0.0829	0.1014	0.1344	0.0833	0.0000
2.00	0.1324	0.1008	0.0901	0.0784	0.1019	0.1402	0.0833	0.0000

表 D.0.3　三边固定、顶端自由双向板的弯矩系数(k_{xt}、k_{yt})

计算截面 / 弯矩系数 / L_B/H_B	$x=0$, $y=H_B/2$		$x=L_B/2$, $y=H_B/2$		$x=L_B/2$, $y=0$		$x=L_B/2$, $y=H_B$	
	k_{xt}	k_{yt}	k_{xt}	k_{yt}	k_{xt}	k_{yt}	k_{xt}	k_{yt}
0.50	0.1018	0.0983	0.0948	0.0974	0.0973	0.0975	0.0955	0.0000
0.75	0.1057	0.0980	0.0925	0.0913	0.0973	0.1004	0.0993	0.0000
1.00	0.1085	0.0968	0.0919	0.0851	0.0974	0.1050	0.1028	0.0000
1.25	0.1072	0.0957	0.0931	0.0768	0.0979	0.1085	0.1057	0.0000
1.50	0.1006	0.0965	0.0951	0.0696	0.0983	0.1091	0.1083	0.0000
1.75	0.0997	0.0943	0.0969	0.0633	0.0975	0.1013	0.1111	0.0000
2.00	0.0981	0.0933	0.0985	0.0570	0.0963	0.0957	0.1118	0.0000
2.25	0.0939	0.0908	0.0988	0.0503	0.0950	0.0861	0.1119	0.0000
2.50	0.0921	0.0908	0.0986	0.0460	0.0934	0.0755	0.1114	0.0000
2.75	0.0918	0.0902	0.0977	0.0409	0.0918	0.0649	0.1098	0.0000
3.00	0.0882	0.0888	0.0965	0.0361	0.0903	0.0551	0.1079	0.0000

附录 E 双向板在非齐顶水(土)压力作用下的弯矩系数和边缘反力系数

表 E.0.1 三边固定、顶端自由双向板在非齐顶水(土)压力作用下的弯矩系数(m_x、m'_x、m_y、m'_y)

弯矩系数 \ L_B/H_B	0.50		0.75		1.00		1.50		2.00		3.00	
λ	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3
m_x	+0.0072	+0.0152	+0.0043	+0.0137	+0.0016	+0.0072	+0.0006	+0.0035	+0.0004	+0.0023	+0.0001	+0.0000
m'_x	−0.0160	−0.0336	−0.0115	−0.0295	−0.0050	−0.0165	−0.0019	−0.0084	−0.0010	−0.0052	−0.0004	−0.0030
m_y	+0.0016	+0.0029	+0.0029	+0.0050	+0.0033	+0.0075	+0.0030	+0.0109	+0.0025	+0.0104	+0.0016	+0.0065
m'_y	−0.0058	−0.0093	−0.0078	−0.0158	−0.0101	−0.0235	−0.0127	−0.0359	−0.0144	−0.0461	−0.0166	−0.0608

注:表中 λ 为水(土)压力高度与板高 H_B 的比值。

表 E.0.2 三边固定、顶端铰支承双向板在非齐顶水(土)压力作用下的弯矩系数(m_x、m'_x、m_y、m'_y)

弯矩系数 \ L_B/H_B	0.50		0.75		1.00		1.50		2.00		3.00	
λ	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3
m_x	+0.0072	+0.0152	+0.0043	+0.0137	+0.0016	+0.0070	+0.0005	+0.0028	+0.0004	+0.0013	+0.0001	+0.0005
m'_x	−0.0160	−0.0336	−0.0115	−0.0295	−0.0050	−0.0163	−0.0018	−0.0078	−0.0009	−0.0040	−0.0003	−0.0014
m_y	+0.0016	+0.0029	+0.0029	+0.0050	+0.0033	+0.0078	+0.0032	+0.0125	+0.0030	+0.0145	+0.0029	+0.0154
m'_y	−0.0058	−0.0093	−0.0078	−0.0158	−0.0101	−0.0234	−0.0124	−0.0335	−0.0133	−0.0380	−0.0136	−0.0402

表 E.0.3　三边固定、顶端自由双向板在非齐顶水(土)压力作用下的边缘反力系数(γ_{Lm}、γ_{Lo}、γ_{Hm}、γ_{Ho})

边缘反力系数 \ L_B/H_B	0.50		0.75		1.00		1.50		2.00		3.00	
λ	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3
γ_{Lm}	0.1296	0.1773	0.1461	0.2269	0.1555	0.2625	0.1623	0.3005	0.1651	0.3202	0.1671	0.3356
γ_{Lo}	0.0893	0.1108	0.1055	0.1448	0.1185	0.1753	0.1327	0.2159	0.1401	0.2410	0.1475	0.2693
γ_{Hm}	0.1386	0.2572	0.1182	0.2185	0.0769	0.1567	0.0489	0.1089	0.0363	0.0785	0.0263	0.0487
γ_{Ho}	0.0387	0.1112	0.0344	0.1061	0.0241	0.0790	0.0170	0.0585	0.0133	0.0462	0.0096	0.0320

表 E.0.4　四边铰支承双向板在非齐顶水(土)压力作用下的边缘反力系数(ξ_{Ls}、ξ_{Lo}、ξ_{Hs}、ξ_{Ho})

边缘反力系数 \ L_B/H_B	0.50		0.75		1.00		1.25		1.50		1.75		2.00	
λ	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3	2/3
ξ_{Ls}(顶端)	0.002	0.013	0.007	0.035	0.012	0.053	0.015	0.061	0.017	0.072	0.018	0.075	0.019	0.076
ξ_{Ls}(底端)	0.117	0.177	0.131	0.214	0.137	0.237	0.140	0.249	0.142	0.254	0.143	0.257	0.143	0.258
ξ_{Lo}(顶端)	0.001	0.008	0.004	0.022	0.007	0.034	0.010	0.043	0.011	0.049	0.012	0.053	0.013	0.056
ξ_{Lo}(底端)	0.087	0.122	0.101	0.157	0.110	0.179	0.116	0.193	0.119	0.202	0.122	0.209	0.124	0.213
ξ_{Hs}	0.208	0.294	0.150	0.251	0.116	0.191	0.095	0.160	0.080	0.136	0.069	0.114	0.061	0.104
ξ_{Hc}	0.052	0.131	0.043	0.115	0.036	0.100	0.030	0.086	0.027	0.075	0.023	0.065	0.020	0.058

本规程用词说明

一、为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1　表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

2　表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”

3　表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”或“可”；反面词采用“不宜”。

二、条文中指定应按其他有关标准执行时，写法为“应符合……的规定”或“应按……执行。”非必须按所指定的标准或其他规定执行时，写法为“可参照……。”

中国工程建设标准化协会标准

给水排水工程
钢筋混凝土水池结构设计规程

CECS 138：2002

条 文 说 明

目　　次

1　总　　则 …………………………………………………… (55)
2　主要符号 …………………………………………………… (56)
3　材　　料 …………………………………………………… (57)
4　结构上的作用 ………………………………………………… (59)
5　基本设计规定 ………………………………………………… (60)
6　静力计算 …………………………………………………… (63)
7　构造要求 …………………………………………………… (64)

1 总　　则

1.0.1 本规程是针对钢筋混凝土水池编制的。对已建水池的总结表明，位于地下、水下的水池，如果采用砖石结构很难符合设计使用标准，为此，从20世纪60年代中期开始一般都采用钢筋混凝土结构。另外，水池结构的受力状态多为平面问题，有的要作空间分析，涉及到砌体的双向受力问题，而砖石结构的一些力学性能目前还缺少可靠数据。而且，砖石结构的防渗、防漏措施很难得到可靠保证。因此，本规程只针对钢筋混凝土水池编制。对于小容量水池，如受材料供应限制而需采用砖石结构时，可根据各地区、各单位的实践经验，参照本规程有关静力计算的规定进行设计。

1.0.2 水池是给水排水工程中重要的构筑物之一，应用面很广。除城镇公用设施外各行各业都有应用，情况比较复杂。为此，对工业企业本条明确适用范围仅限于一般给水排水工程，不包括具有特殊要求的工程。

1.0.3 本条明确，本规程系根据《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069规定的原则制定，主要指在结构设计模式上统一采用以概率理论为基础的极限状态设计方法。

1.0.4～1.0.5 本条文说明，本规程的任务只是解决有关给水排水工程钢筋混凝土水池结构设计的特定问题，因此，对设计的可靠度标准、荷载标准、构件截面设计以及地基基础设计等均应根据我国现行的相关标准执行，本规程不再重复规定。对承受偶然作用的或建造在特殊地基上的钢筋混凝土水池，其结构设计应遵照我国现行的相关标准执行。应该注意，本规程不得与未按《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068—2002制订、修订的各种建筑结构设计标准混用。

2 主要符号

2.0.1～2.0.4 本条主要对给水排水工程钢筋混凝土水池结构设计中常用的符号，按下列原则作出统一规定：

1 引用国家标准《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069中已经采用的符号；

2 相关标准中已经采用的符号，直接引用；

3 沿用原规范中采用的符号。

3 材　　料

3.0.1　本条主要根据工程经验规定了钢筋混凝土水池的防渗，以混凝土的水密性自防为主。为此，所提出的混凝土强度等级要求比过去稍有提高，以期尽量与抗渗要求相协调，这一强度在承载力设计中能充分利用。同时，也考虑到近年来混凝土多转向商品化，且高标号水泥生产较多，以致工程中实际采用的混凝土等级已提高。

3.0.2　本条仍以水池承受的最高水头与混凝土构件厚度的比值为指标，确定应采用的混凝土抗渗等级。此外，据了解目前正规的施工单位都拥有抗渗等级试验设备，故本条明确规定混凝土抗渗等级应根据试验确定。

3.0.3　本条规定，外露水池在无保温措施的条件下，应有抗冻等级要求。工程实践表明，过去对混凝土的抗冻要求偏低，现借鉴水利工程的规定作了相应提高。同时，也与目前采用的快速法试验相适应。

3.0.4　在配制抗渗、抗冻混凝土时，为确保混凝土的密实性，本条提出了具体要求。在水灰比不大于0.5的条件下，根据国内有关资料，为达到合理的混凝土配比，水泥的标号可参照下表选用。

混凝土的配合比

水泥标号	混凝土强度等级	水灰比	石子最大粒径(mm)					
			10		20		40	
			用水量(kg/m³)	砂率(%)	用水量(kg/m³)	砂率(%)	用水量(kg/m³)	砂率(%)
325	C25	0.45～0.50	180～190	30～37	180～185	32～36	175～180	31～35
	C30	0.38～0.43	190～195	31～35	185～190	30～34	180～185	29～33

续表

水泥标号	混凝土强度等级	水灰比	石子最大粒径(mm)					
			10		20		40	
			用水量(kg/m³)	砂率(%)	用水量(kg/m³)	砂率(%)	用水量(kg/m³)	砂率(%)
425	C30	0.48～0.52	185～190	34～37	180～185	33～36	175～180	32～35
	C35	0.42～0.47	190～195	33～36	185～190	32～35	180～185	31～34
525	C40	0.45～0.50	190～195	33～37	185～190	32～36	180～185	31～35
	C45	0.40～0.45	195～200	32～36	190～195	31～35	185～190	30～34

注:1 计算过程如下:

1)根据原材料情况与混凝土强度等级选用水灰比、用水量和砂率;

2)水泥用量=用水量÷水灰比;

3)砂用量=[混凝土重力密度－(水泥重＋水重)]×砂率;

4)石子用量=混凝土重力密度－(水泥重＋水重＋砂重)。

2 不用减水剂时,可将表中用水量增加5%～10%。

3 表中数值,控制混凝土坍落度为2～4cm。

4 使用细砂量,表中砂率应减少2%～4%。

抗渗、抗冻混凝土中砂子的含泥量一般不应超过3%,云母含量不应超过1%。由于水池抗渗要求很高,本条规定二者之和不应超过3%。

3.0.5～3.0.7 条文的规定主要从保证混凝土耐久性考虑。

4 结构上的作用

4.1.1 本条阐明了给水排水工程水池设计中具体遇到的各种作用。根据《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069 规定的原则，将作用区分为永久作用和可变作用，并根据过去的经验增加了池壁四周的地面堆积荷载作为可变荷载。

4.1.2～4.1.3 条文主要明确可变作用采用的代表值，并明确结构承受两种或两种以上可变作用时，按承载能力极限状态的标准组合和正常使用极限状态的准永久组合设计时的取值。

4.2.1～4.2.5 条文明确在给水排水工程水池设计中，各项永久作用标准值的取值。

4.3.1～4.3.4 条文明确了在给水排水工程水池设计时，各项可变作用标准值的取值；对正常使用极限状态按准永久组合设计，其相应的准永久值系数均根据工程实际情况或参照相关标准作出了具体规定。对地表水与地下水（包括上层滞水）标准值的取值作出了明确规定。

4.3.5 根据工程实践经验，对地下水池或有保温设施的水池一般不计算温（湿）度变化作用，但在施工阶段未还土或未做保温设施前必须加强对混凝土的养护，以避免由于干缩产生裂缝。对暴露在大气中的水池，温（湿）度是一个不可忽视的重要因素，因此在设计中必须考虑温（湿）度变化作用。湿度当量温差的取值系参考国外资料，考虑混凝土干缩湿度变化的当量温差约 10～15℃范围内，因水池系盛水构筑物，故取 10℃作为湿度的当量温差是适宜的。

4.3.6 在施工过程中，水池周边有可能堆土或有施工机械运作。为此，按经验规定地面堆积荷载取 $10kN/m^2$。由于这种荷载不可能长期存在，故参照车辆荷载的规定，准永久值系数取 0.5。

5 基本设计规定

5.1.1～5.1.2 条文中明确，除稳定验算外，均采用以概率理论为基础的承载能力极限状态设计方法，以分项系数设计表达式进行设计。

5.1.3 本条明确，按正常使用极限状态设计时，为确保水池防渗、防漏和耐久，当水池结构构件轴心受拉或小偏心受拉时，由于全截面处于受拉状态，短期内即裂开，故须按标准组合进行抗裂度验算；当水池结构构件受弯或大偏心受拉时，由于部分截面处于受拉、部分截面处于受压状态，故可按准永久组合进行裂缝宽度验算。

5.1.4 本条明确规定，壁面温差和湿度当量温差只需取两者中的较大者，亦即，可取冬季壁面温差或夏季湿度等效温差中的较大者。

5.1.5～5.1.6 矩形多格水池设计时应考虑水池结构的最不利状态。地基反力计算，主要根据国内的习惯，但不排斥采用比较精确的方法。

5.1.7 池壁基础的结构形式，在一定条件下可采用独立基础，即基础与底板分离，不作连续计算。此时，池壁基础与中间底板的连接构造可一并浇筑或分别浇筑。分别浇筑时可搭接或设缝加止水措施，这样做比较经济，目前国内地基持力层承载力特征值大于$100kN/m^2$时常采用的结构形式。

5.1.8 水池结构的计算简图，主要根据国内工程实践中广为采用的模型。

5.1.9 当底板（基础）视为固定支承时，本条规定底板（基础）厚度可根据土质情况取 1.2～1.5 倍池壁厚度。这是按照底板（基础）

刚度相当于池壁刚度的10倍左右，在一般情况下底板可以起固定作用。外挑的要求也同样为了有利于起固定作用。

5.2.1 本条主要明确水池结构构件按极限状态方法设计，与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010相衔接。同时对结构重要性，明确规定在一般情况下取二级。

5.2.2 本条针对水池结构可能承受的作用，对按承载能力极限状态计算的作用效应组合作出了明确规定。根据《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069规定的原则对分项系数也给予规定。同时，根据水池型式及工况，明确了作用项目的组合。本条对地下式水池没有考虑池内有水、池外有土的工况，因为这种情况一般不起控制作用。此外，也应注意，这种工况在计算承载能力或池壁与池顶板为弹性嵌固时池顶板的内力时应予考虑。

5.2.3 本条明确了当池壁基础采用独立基础时，根据国内经验设计时须考虑的问题。

5.2.4 本条规定，抗浮稳定验算包括整体抗浮与局部抗浮两个方面。当水池内设置中间支承结构时，由于抗浮力分布不均匀，分布在底板下的地下水浮力有可能使单独的支承结构发生轴向上移，从而造成底板与顶板开裂。为此，本条规定须验算支承区域内的局部抗浮，以保证安全。另外，本规程虽明确了池内盛水为永久荷载，但在抗浮验算时应考虑放空情况，即不考虑池内盛水，

5.3.1 本条明确规定，按正常使用极限状态设计结构构件时，分别按作用效应的标准组合或准永久组合进行验算，以确保满足结构构件的使用要求、感观要求，尤其是耐久性要求。

5.3.2～5.3.3 按正常使用极限状态标准组合或准永久组合验算时，结合水池的运行情况，条文给出了作用效应组合的一般公式。并明确，应根据水池型式及工况取不同作用项目。

5.3.4～5.3.6 条文中，对结构构件截面最大裂缝宽度限值，以及抗裂度验算与最大裂缝宽度验算的计算公式，均按《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069的规定给出。

5.3.7 本条明确，水池结构构件在一定条件下应作变形验算，并规定了挠度限值，以保证构件处于正常工作状态及具有良好的外观。

5.4.1 本条结合预应力混凝土水池国内的施工条件，明确规定均采用后张法，但不排斥某些预应力预制构件（如顶板）采用先张法施工。

5.4.2～5.4.6 条文主要参照《混凝土结构设计规范》GB 50010和《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ/T 92 对预应力混凝土水池设计提出有关要求。

5.4.7～5.4.9 对缠丝张拉预应力混凝土圆形水池的预应力损失及装配式池壁与杯环连接时预应力张拉阶段、闭水试验和使用阶段的计算方法，都沿用了原规范《给水排水工程结构设计规范》GBJ 69—84 的规定。

5.4.10～5.4.11 条文结合预应力混凝土水池设计的具体情况，明确了构件抗裂度验算的要求。

6 静力计算

6.1.1 关于矩形水池结构计算简图的规定，主要根据国内工程实践中广为采用的模型。

6.1.2～6.1.10 条文沿用了原《给水排水工程结构设计规范》GBJ 69—84 的规定。这些规定在工程设计中均被广泛应用。

6.1.11 原规范《给水排水工程结构设计规范》GBJ 69—84 在水池一章中未给出有关规定，因水池设计一般均将池内水压取到池壁顶。这次修订后规定池内水压可按设计水位的静水压力计算。为此，本条针对池壁承受非齐顶水（土）压情况给出了双向受力壁板的弯矩和边缘反力的计算公式。这些公式系沿用原规范 GBJ 69—84 泵房一章中的规定。

6.2.1 关于圆形水池结构计算简图的规定，主要根据国内工程实践中广为采用的模型。

6.2.2～6.2.7 条文沿用原规范《给水排水工程结构设计规范》GBJ 69—84 的规定。公式(6.2.4-1)～(6.2.6-3)均将混凝土泊桑比 υ_c 取 $\frac{1}{6}$ 代入求得。

6.2.8 本条在原规范《给水排水工程结构设计规范》GBJ 69—84 的基础上，补充了圆形钢筋混凝土水池等厚池壁边缘抗挠刚度的规定，以便计算圆形水池池顶板与池壁连接处内力的分配。

7 构造要求

7.1.1～7.1.2 条文规定受力构件的最小厚度，主要为保证施工质量和构件耐久性，并满足水池构件钢筋最小保护层厚度的要求。

7.1.3～7.1.4 条文按《给水排水工程构筑物设计规范》GB 50069的规定制定，均在过去工程中采用。

7.1.5 本条明确伸缩缝和沉降缝的构造应由止水带、填缝板和嵌缝材料组成。目前国内的止水带一般采用橡胶止水带，主要由于国内生产的塑料止水带成型较差，很少被采用；填缝板均采用具有适应变形功能的板材；嵌缝材料目前都采用聚硫。

7.1.6 本条明确，同一截面上绑扎钢筋搭接接头错开百分率容许增加到50％，但要求适当增加搭接长度。同时也明确，接头宜优先采用焊接或机械接头。

7.1.7 敞口水池的池壁顶端，在温差或地基变形作用下是结构的薄弱点，为此，本条规定顶端应配置加强钢筋。

7.1.8 在水池池壁的拐角和与顶、底板的交接处，由于应力集中而设置腋角，以改善其受力状态，并根据工程经验规定了构造钢筋的配置量与间距。目前由于施工原因，有的工程不设腋角仅在拐角处设置构造钢筋，为此，本条采用"宜"字以留余地。

7.1.9 本条系沿用原规范《给水排水工程结构设计规范》GBJ 69—84的规定。

7.1.10 水池构件构造钢筋的最小配筋率取值，沿用了给水排水工程设计的经验数值。

7.1.11 本条规定拐角处受拉钢筋的锚入长度，系根据《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定，并结合角隅处的偏心受拉状态，考虑钢筋的锚固长度自池壁内侧算起，不考虑设置腋角的影响。

7.1.12 本条沿用了工程设计的经验。

7.2.1～7.2.8 条文均结合水池设计的实际情况，遵照《混凝土结构设计规范》GB50010 与《无粘接预应力混凝土结构技术规程》JGJ/T 92—93 的规定。

7.2.9 预应力水池池壁开孔较小时，可仅在洞口局部加强；开孔较大时，应在开孔两则设锚固架锚固预应力筋，改善受力状态。

7.2.10 由于喷浆保护层未施加预应力，当其承受内压力时，将随预应力钢筋拉伸变形而开裂。为此，本条规定喷浆层应在池内满水条件下实施。

7.2.11～7.2.12 条文主要考虑提高施加预应力的效果，并保证池壁的水密性。